

多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関する研究

著者	山崎 喜郎
号	3095
発行年	2003
URL	http://hdl.handle.net/10097/8367

氏 名	やま ざき よし お 山 崎 喜 郎
授 与 学 位	博士（工学）
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 9 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）技術社会システム専攻
学 位 論 文 題 名	多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 須川 成利
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 井口 泰孝 東北大学教授 長平 彰夫 東北大学助教授 小谷 光司 東北大学客員教授 大見 忠弘 東北大学客員助教授 寺本 章伸

論 文 内 容 要 旨

本論分では、今後増加の一途を辿ると予想されているシステム LSI 製造施設に適した多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関して論じている。情報家電用のシステム LSI は製品サイクルが短いために、1 製品あたりの通産生産台数が数十万から数百万台程度になると考えられ、従来の数万枚/月の少品種大量生産対応のラインでは、超低価格なシステム LSI を短期間に生産することは極めて困難となる。2～3 千枚/月のウェーハ生産で十分に利益があがり、段階的に拡張できる段階投資型半導体生産方式がこれからの必須技術になる。このように、従来に見られる月産数万枚の大規模な製造ラインではなく、顧客の好みに応じた製品を効率よく、瞬時に生産できるフレキシブルな生産方式にしなければならない。さらに生産者側として十分な利益を得るためには、製品の信頼性および商品価値が高いことも必須である。また、収益性の高い製造施設であるためには、製造装置を高稼働率で運転し続け、高価な製造装置の償却を早めることが要求される。その様な製造ラインを実現させるためには、製造装置の要件を満たすだけではなく、高稼働率、多品種少量生産に対応可能な製造装置をラインアップした新たな施設モデルが必要になる。さらに、従来製造施設技術の延長上で施設規模を小さくしただけのものでは、製造施設の収益性が落ちる為、その製造ラインを構成する製造装置へ供給するユーティリティ供給設備、製造環境（クリーンルーム）を一つの製造装置と捉えた製造施設モデルが必要である。現在までの研究においては、多品種少量生産対応できる製造装置に対するいくつかの研究が進められている。しかし、製造施設を構築する為には、製造装置だけではなく、施設（クリーンルーム）や製造装置に供給する各種ユーティリティ供給システムが必要であり、それらの多品種少量生産対応段階投資に適合したモデルが必須である。多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設を構築するためには、大きく 2 つの要件が必要である。一つは「スケーラビリティ性」、もう一つは「短時間」である。まず、「スケーラビリティ性」について述べる。生産量が少量から汎用並の大量生産まで行なう変動生産では、少量生産単位での生産を行なった場合の採算性が合わなくてはならない。例えば、生産量が 1/10 になった場合に、製造施設規模や製造コストは 1/10 またはそれ以下になる必要がある。現状施設技術では、「スケーラビリティ」を達成することが困難であり、それを達成する為には、新たな製造施設を構成する各要素に対する技術導入が必要である。次に、「短時間」である。現状の製造施設立上げ時間が 1 年強、製造時間ではおよそ 1 ヶ月かかるため、システム LSI 市場を予測し、設備投資リスクを軽減できる

ものとなっていない。上記で述べた様に、変化が激しいシステム LSI 市場に追従し、収益をあげて行く為には、短時間に新規設備を立上げ、製品リードタイムを最短にし、さらには新製品に対応する為の施設リニューアル、拡張、製造ライン条件切換えを「短時間」に行なうことの重要性が増大してくる。

本論文は、上記の要件を唯一満たす新規な多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関する研究をまとめたものであり、全文 5 章からなる。

第 1 章は序論である。本章では、これから到来するシステム LSI 時代に多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設が求められる背景について、半導体市場の現状を分析し、本研究の議論の方向性、焦点、目的について論じている。

第 2 章では、収益性の高い多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設の構築に必要な各要素技術に関して論じている。メモリーに代表される少品種大量生産に適応した製造施設構築技術の延長で単に小規模な製造施設を構築しただけでは、採算性の高い施設は実現しないことを示し、スケーラブルな半導体製造施設を実現するための要件を要素毎に論じている。また、その製造装置を設置する環境も従来の様に全体の環境を高度な仕様にするのではなく、ウェーハ周辺のみ環境を守る構造とし、その部分のみ環境を整えることで、小規模施設になることのメリットを活かし、クリーンルーム方式、ユーティリティ供給方式、搬送システム他に関する以下①～⑧について論じ評価を行っている。

①製造装置

製造装置に関して、現在東北大学で研究開発中の枚葉/マルチプロセス・シングルチャンバー装置、高圧縮比メカニカルブースターポンプおよびバックポンプの様な生産装置の周辺装置の必要性に関して述べた。多品種少量生産では、一つのチャンバーで一つのプロセスしか行なえない現状製造装置を用いただけでは、製造装置一台が受け持つウェーハ処理量が少量である為、その製造装置がもつ能力を活用できず、生産効率の悪化が避けられない。それに対し、一つのチャンバーで複数のプロセスを行なえる枚葉/マルチプロセス・シングルチャンバー装置を適応することにより、製造装置の能力を最大に活用することが可能となり、生産効率向上につながる。

②クリーンルーム方式

クリーンルームの本来の目的を再確認し、その目的を必要最低限の機能で達成するために、製造装置、ウェーハ搬送技術を融合させることが重要であることを示し、その効果がコスト面、施工期間短縮面で有効であることを示した。そのための新方式として、ウェーハ周辺の清浄度、化学汚染物質、温湿度を一定に保つ為の完全局所容器を用い、クリーンルームの簡易化を行なうモデルを示した。

③装置冷却システム

装置冷却システムの本来の目的は、製造装置を効率よく最小限のエネルギーを用いて冷却することである。現状設備では、大容量の冷却水を 24 時間循環しつづけるものである為、大量のエネルギー消費が発生している。その問題解決技術として、 Δt （出入口温度差）を現状の 3℃から 20℃程度の大温度差をとることにより、冷却システムのコンパクト化が図れることを示した。さらに冷却水として水素添加水を活用することにより高熱伝導率の銅管を使用可能であること、ランニングコスト削減が期待できることを示した。

④超純水供給システム

超純水システムはその品質確保のために循環系をつくり常時フィルターを通して循環させなくてはならないシステムになっている点に焦点を絞り、超純水も他ユーティリティ供給同様、必要なときにのみ供給する蛇口方式が今後の重要研究対象であることを示した。さ

らに、循環水系統を装置冷却水循環系統と統合し、省スペース化、省エネルギー化が図れることを示した。

⑤排水処理・回収システム

室温 4 工程洗浄方式を採用することにより、ウェットプロセス装置への供給薬液、超純水量を削減でき、その結果、排水量を削減することが可能となる。また、フッ酸や現像液等の薬液排水を回収再利用することにより、排水を最小限とすることが可能となることを示している。

⑥薬液供給・回収システム

薬液供給量が削減される為、供給システムを現状の大規模集中供給方式からウェット系製造装置への薬液ローカル供給、さらには、使用した薬液もローカル回収再利用が可能となることを述べている。

⑦特殊ガス供給・回収システム

薬液同様、特殊ガス供給システムに関しても、必要最小限のガスをチャンバーに供給し、チャンバーからの排出ガスを再利用するガス供給・回収システムを述べた。また、ガス使用量の削減により、ガス供給システムのローカル供給化が可能となることを示している。この効果として、現場施工期間の短縮に対する効果が高いことも述べた。

⑧ウェーハ搬送システム

製造施設規模が縮小され、ウェーハ搬送距離が短縮されるため、RGV（レールガイド式搬送台車）による直線高速搬送が実現され、超短製造リードタイム実現可能となる搬送システムを示している。また、リードタイム削減による中間品在庫量の削減、ストッカーレス化に関して述べている。

第 3 章では、第 2 章で述べた新たな要素技術を導入した多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設のモデルを構築している。300mm ウェーハおよび 200mm ウェーハ対応製造施設に対し、システム LSI 製造フロー、ウェーハサイズ、製造装置ラインアップ、生産量等の主要パラメータの設定により、代表的施設モデルを立案した。それらの各モデルに対して、製造効率、製造施設規模に対する比較検証を行い、当モデルがスケーラビリティを有し、段階投資により現状の大規模製造施設と同等の製造能力をもつことが可能となることを示している。

第 4 章では、現状施設に対し、半導体製造コスト面、時間面から比較検証を行なっている。現状施設に対して、当モデルのコスト・スケーラビリティがあり、施設立上げ時間も 1 クォータで可能となることを示した。また、多品種少量生産の場合、レチクルコストの製造コストに対する比率が現状と比較し大幅増加につながることを示し、レチクルコスト削減に向けた研究が今後極めて重要になることを示している。さらに、本提案モデル実現に向けて、研究段階と量産工場実用化間のインターフェース役としての産学連携の重要性を述べた。

第 5 章は結論である。

本研究により立案された多品種少量生産対応段階投資型製造施設構築技術をシステム LSI 製造に導入することが、収益性が高く、コスト競争力がある製造施設の実現を可能にする手段のひとつになると考えられる。さらに、そのモデル実現が、将来の半導体産業のさらなる発展に大きく寄与すると考えられる。

論文審査結果の要旨

現在半導体応用製品の主力分野は、パーソナルコンピュータからデジタル情報家電・モバイル個人情報端末へと大変革のさなかにある。半導体素子でいえば、汎用プロセッサ、汎用メモリからシステム LSI が主力となる変革が起きている。今後増加の一途を辿ると予想されているシステム LSI においては、超多品種や少量の生産にも対応できる、短納期で、初期投資が抑制された、機動的で柔軟性のある新たな開発・生産技術が必要である。新製品の實用化のみならず、その製品のライフサイクルが完了するまで日々連続して性能向上を要求される状況にも十分に対応できるようにするために、新しい超短時間開発・生産方式の創出が重要である。本論文では、こうしたシステム LSI の生産に適した新規な多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関する研究をまとめたものであり、全文 5 章からなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、収益性の高い多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設を構築するための各要素技術を提案しそれらの有効性を論じている。DRAM に代表される従来からの画一大量生産製造施設の構築技術の延長で単に小規模な製造施設を構築した場合の問題点を明らかにした上で、多品種少量なシステム LSI を短時間に高収益に製造するのに適した製造装置、クリーンルーム方式、ガス・超純水・薬液等のユーティリティ方式、搬送システムなどに関する新規な要素技術を明らかにしている。製造施設を構成する全要素技術を網羅しかつその有効性を明らかにしたことは、多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設モデルを具現化の上できわめて有益で重要な成果である。

第 3 章では、第 2 章で述べた新規な要素技術を導入した多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設に関して、シリコンウエーハ径、製造工程、製造装置配置、生産量等の諸条件を考慮した具体的な製造施設モデルについて論じている。代表的な数種類の製造施設モデルに対して、製造効率、製造施設規模に対する定量的な比較検証を行い、新規な半導体製造施設モデルがスケラピリティおよび短期施工性能を有し、多品種少量生産に対応した段階投資型製造施設として最適であることを示している。従来定性的にしか論じられていなかった多品種少量生産半導体製造施設について、その全貌を詳細にわたり定量的に明らかにしたことは極めて重要な成果である。

第 4 章では、第 3 章で論じた多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設モデルの有効性をより具体的に明らかにするために、建物・ユーティリティ・製造装置等の原価償却固定費およびウエーハ・ガス・水・薬液・クリーンルーム維持・人件費等の変動費について様々な事例を挙げ、半導体製造コスト面、施設施工時間面から定量的に比較検証を行なっている。その結果、従来の延長技術で施工した半導体製造施設に比べ、本モデルを適応した多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設では、従来の約 1/2 のコストで半導体素子が製造でき、また製造施設建設期間も約 3 ケ月という短期間で可能となることを明らかにしている。これは、高効率高収益性を有するシステム LSI 製造施設を、投資リスクを抑え、市場需要予測が可能な短期間の施工で実現できることを示しており、きわめて有益で重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、システム LSI の生産に適した多品種少量生産対応段階投資型半導体製造施設を実現するための新規な半導体製造施設モデルを確立したものであり、今後の半導体産業の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。